

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-225357  
(43)Date of publication of application : 14.08.1992

[51]Int.Cl.

G03F 7/20  
H01L 21/027

21) Application number : 02-408093

(71)Applicant : NIKON CORP

[22] Date of filing : 27.12.1990

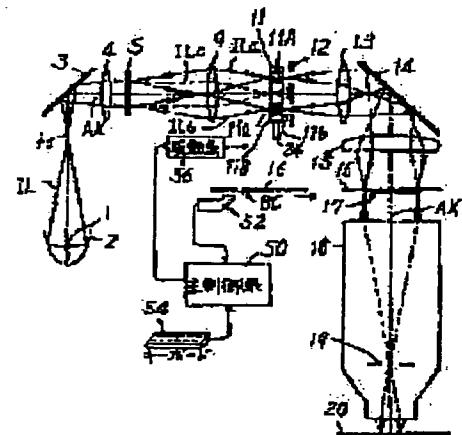
(72) Inventor : SHIBAISHI NAOMASA

## 54) PROJECTION TYPE EXPOSURE DEVICE

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To enhance resolution and depth of focus at the time of projecting and exposing a circuit pattern, etc.

**CONSTITUTION:** A reticle 16 is irradiated with an illuminating luminous flux from a light source 1 through plural fly-eye lens groups 11A and 11B separating from each other, and then, the image of a reticle pattern 17 is formed and projected on a wafer (photosensitive substrate) 20 by a projecting optical system 18. Each outgoing end side 11b of the lens groups 11A and 11B is conjugated with the pupil 19 of the projecting optical system 18, respective lens groups 11A and 11B are held in one body at a discretizing position decentering from an optical axis AX by the amount which is decided in accordance with the periodicity of the reticle pattern 17. High resolution and the great depth of focus can be attained, and also, the uniformity of illuminance distribution on the reticle can be maintained in a good state.



## **LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-225357

(43)公開日 平成4年(1992)8月14日

(51) Int.Cl.<sup>®</sup>  
G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/027

識別記号 庁内整理番号  
7818-2H

F I

技術表示簡所

7352-4M

H01L 21/30

311 L.

### 審査請求 未請求 請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平2-408093

(22) 出願日 平成2年(1990)12月27日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 白石 正直

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式  
会社ニコン大井製作所内

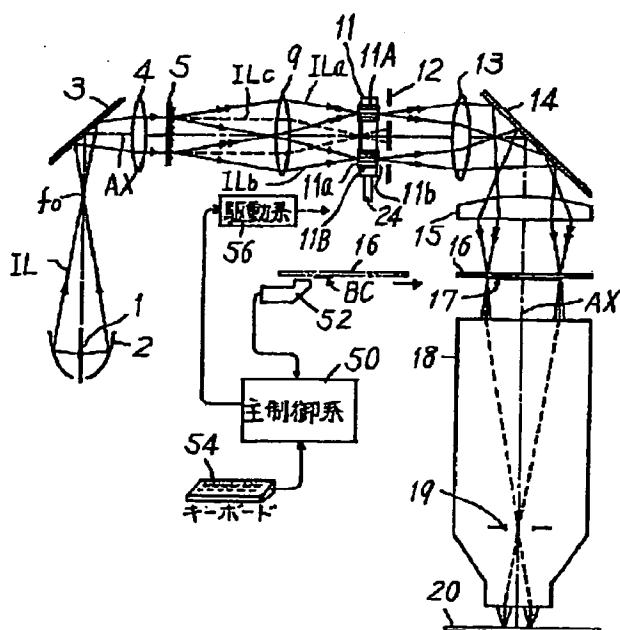
(54) 【発明の名称】 投影型露光装置

(57) 【要約】

【目的】回路パターン等の投影露光時の解像力と焦点深度とを向上させる。

【構成】 光源1からの照明光束を、互いに分離した複数のフライアイレンズ群11A、11Bを介してレチクル16に照射し、レチクルパターン17を投影光学系18によりウエハ(感光基板)20に結像投影する。フライアイレンズ群11A、11Bの各射出端側11bは投影光学系18の瞳19と共に役であり、各フライアイレンズ群11A、11Bはレチクルパターン17の周期性に応じて決まる量だけ光軸AXから偏心した離散的な位置で一体に保持される。

【効果】 高解像力化、大焦点深度化が達成されるとともに、レチクル上の照度分布の均一性も良好に維持される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源からの照明光をほぼ均一な強度分布に成形するとともに、該均一な照明光を周期性のパターン部分を有するマスクに照射する照明光学系と、前記マスクのパターンの像を感光基板に結像投影する投影光学系と、前記感光基板の表面を前記投影光学系の結像面近傍に配置するように前記感光基板を保持するステージとを備えた投影型露光装置において、

前記照明光学系の光路中で、前記マスク上のパターンのフーリエ変換相当面、もしくはその共役面の位置近傍に、互いに分離した2次光源像を形成する複数のフライアイレンズ群と；該複数のフライアイレンズ群の各々の中心が、前記マスク上のパターンの周期性に応じて決まる量だけ、前記照明光学系もしくは前記投影光学系の光軸に対して偏心した離散的な位置に設定されるように、前記複数のフライアイレンズ群を一体に保持する保持部材とを備えたことを特徴とする投影型露光装置。

【請求項2】 光源からの照明光をほぼ均一な強度分布に成形するとともに、該均一な照明光を周期性のパターン部分を有するマスクに照射する照明光学系と、前記マスクのパターンの像を感光基板に結像投影する投影光学系と、前記感光基板の表面を前記投影光学系の結像面近傍に配置するように前記感光基板を保持するステージとを備えた投影型露光装置において、

前記照明光学系の光路中で、前記マスク上のパターンのフーリエ変換相当面、もしくはその共役面の位置近傍に、互いに分離した2次光源像を形成する複数のフライアイレンズ群と；該複数のフライアイレンズ群の各々の中心が、前記マスク上のパターンの周期性に応じて決まる量だけ、前記照明光学系もしくは前記投影光学系の光軸に対して偏心した離散的な位置に設定されるように、前記複数のフライアイレンズ群を一体に保持する複数の保持部材と；

該複数の保持部材の各々を交換可能に前記照明光学系の光路中に配置する切替部材とを備え、前記複数の保持部材の各々は、前記マスク上のパターンの周期性の違いに応じて、前記複数のフライアイレンズ群の前記偏心状態を互いに異ならせて保持していることを特徴とする投影型露光装置。

【請求項3】 前記保持部材は、前記照明光学系の光路中に設定された前記複数のフライアイレンズ群の各々に前記光源からの照明光を入射させるインプット光学系と、前記複数のフライアイレンズ群と一緒に保持することを特徴とする請求項1又は2に記載の装置。

【請求項4】 前記複数のフライアイレンズ群は $2m$ （ただし $m \geq 1$ ）個で構成されるとともに、該 $2m$ 個のフライアイレンズ群のうち $m$ 個のフライアイレンズ群の各中心は、前記マスクのパターンから発生する0次回折光成分と、該0次回折光成分に対して前記パターンの微細度に応じた角度で広がる±1次回折光成分のうちの少

なくとも一方とが、前記投影光学系の瞳面で前記光軸からほぼ等距離に分布するように、前記フーリエ変換相当面、あるいはその共役面内で偏心して配置するとともに、残りの $m$ 個のフライアイレンズ群の各中心は、先の $m$ 個のフライアイレンズ群の各中心と前記光軸を挟んでほぼ対称に配置することを特徴とする請求項1乃至3に記載の装置。

【請求項5】 前記複数のフライアイレンズ群のうち任意の1つのフライアイレンズ群からの照明光の照射によって前記マスクから発生する回折光に着目したとき、前記投影光学系の瞳面上に分布する0次回折光成分と、前記マスクのパターンの2次元的な周期性構造に依存して前記0次回折光成分を中心に前記瞳面上で第1方向に分布する1次以上の高次回折光成分の1つと、前記瞳面上で前記0次回折光成分を中心に前記第1方向と交差する第2方向に分布する1次以上の高次回折光成分の1つとの3つの回折光成分が、前記瞳面上で前記光軸からほぼ等距離に分布するように、前記任意の1つのフライアイレンズ群の中心を前記光軸から偏心させて配置したことを特徴とする請求項1乃至3に記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体集積素子等の回路パターン又は液晶素子のパターンの転写に使用される投影型露光装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体素子等の回路パターン形成には、一般にフォトリソグラフ技術と呼ばれる工程が必要である。この工程には通常、レチクル（マスク）パターンを半導体ウエハ等の試料基板上に転写する方法が採用される。試料基板上には、感光性のフォトレジストが塗布されており、照射光像、すなわちレチクルパターンの透明部分のパターン形状に応じて、フォトレジストに回路パターンが転写される。投影型露光装置（例えばステッパー）では、レチクル上に描画された転写すべき回路パターンの像が、投影光学系を介して試料基板（ウエハ）上に投影、結像される。

【0003】 また、レチクルを照明するための照明光学系中には、フライアイレンズ、ファイバー等のオプチカルインテグレーターが使用されており、レチクル上に照射される照明光の強度分布が均一化される。その均一化を最適に行なうためにフライアイレンズを用いた場合、レチクル側焦点面とレチクル面（パターン面）とはほぼフーリエ変換の関係で結ばれており、さらにレチクル側焦点面と光源側焦点面ともフーリエ変換の関係で結ばれている。従って、レチクルのパターン面と、フライアイレンズの光源側焦点面（正確にはフライアイレンズの個々のレンズの光源側焦点面）とは、結像関係（共役関係）で結ばれている。このため、レチクル上では、フライアイレンズの各エレメント（2次光源像）からの照明

3

光がそれぞれ加算（重畳）されることで平均化され、レチクル上の照度均一性を良好とすることが可能となっている。

【0004】従来の投影型露光装置では、上述のフライアイレンズ等のオプチカルインテグレーター入射面に入射する照明光束の光量分布を、照明光学系の光軸を中心とするほぼ円形内（あるいは矩形内）でほぼ一様になるようにしていた。図13は上述の如き従来の投影型露光装置（ステッパー）の概略的な構成を示しており、照明光束L130は照明光学系中のフライアイレンズ11、空間フィルター12、及びコンデンサーレンズ15を介してレチクル16のパターン17を照射する。ここで、空間フィルター12はフライアイレンズ11のレチクル側焦点面11b、すなわちレチクル16に対するフーリエ変換面（以後、瞳面と略す）、もしくはその近傍に配置されており、投影光学系18の光軸AXを中心としたほぼ円形領域の開口を有し、瞳面内にできる2次光源（面光源）像を円形に制限する。こうしてレチクル16のパターン17を通過した照明光は、投影光学系18を介してウエハ20のレジスト層に結像される。ここで、光束を表す実線は1点から出た光の主光線を表している。このとき、照明光学系（11、12、15）の開口数と投影光学系18のレチクル側開口数との比、いわゆる $\sigma$ 値は開口絞り（例えば空間フィルター12の開口径）により決定され、その値は0.3～0.6程度が一般的である。

【0005】さて、照明光L130はレチクル16にパターンングされたパターン17により回折され、パターン17からは0次回折光D<sub>0</sub>、+1次回折光D<sub>P</sub>、及び-1次回折光D<sub>R</sub>が発生する。それぞれの回折光（D<sub>0</sub>、D<sub>P</sub>、D<sub>R</sub>）は投影光学系18により集光され、ウエハ（試料基板）20上に干渉縞を発生させる。この干渉縞がパターン17の像である。このとき、0次回折光D<sub>0</sub>と±1次回折光D<sub>P</sub>、D<sub>R</sub>とのなす角θ（レチクル側）は $\sin\theta = \lambda/P$ （λ：露光波長、P：パターンピッチ）により決まる。

【0006】ところで、パターンピッチが微細化すると $\sin\theta$ が大きくなり、 $\sin\theta$ が投影光学系18のレチクル側開口数（NA<sub>R</sub>）より大きくなると、±1次回折光D<sub>P</sub>、D<sub>R</sub>は投影光学系18を透過できなくなる。このとき、ウエハ20上には0次回折光D<sub>0</sub>のみしか到達せず干渉縞は生じない。つまり、 $\sin\theta > NA_R$ となる場合にはパターン17の像は得られず、パターン17をウエハ20上に転写することができなくなってしまう。

【0007】以上のことから、今までの投影型露光装置においては、 $\sin\theta = \lambda/P = NA_R$ となるピッチPは次式で与えられていた。

$$P = \lambda / NA_R \quad (1)$$

これより、最小パターンサイズはピッチPの半分である 50

4

から、最小パターンサイズは $0.5 \cdot \lambda / NA_R$ 程度となるが、実際のフォトリソグラフィー工程においてはウエハの湾曲、プロセスによるウエハの段差等の影響、またはフォトレジスト自体の厚さのために、ある程度の焦点深度が必要となる。このため、実用的な最小解像パターンサイズは、 $k \cdot \lambda / NA$ として表される。ここで、kはプロセス係数と呼ばれ0.6～0.8程度となる。レチクル側開口数NA<sub>R</sub>とウエハ側開口数NA<sub>R'</sub>との比は、投影光学系の結像倍率と同じであるので、レチクル上における最小解像パターンサイズは $k \cdot \lambda / NA_R$ 、ウエハ上の最小パターンサイズは、 $k \cdot \lambda / NA_R' = k \cdot \lambda / B \cdot NA_R$ （但しBは結像倍率（縮小率））となる。

10

【0008】従って、より微細なパターンを転写するためには、より短い波長の露光光源を使用するか、あるいはより開口数の大きな投影光学系を使用するかを選択する必要があった。もちろん、露光波長と開口数の両方を最適化する努力も考えられる。また、レチクルの回路パターンの透過部分のうち、特定の部分からの透過光の位相を、他の透過部分からの透過光の位相よりπだけずらす、いわゆる位相シフトレチクルが、例えば特公昭62-50811号公報等で提案されている。この位相シフトレチクルを使用すると、従来よりも微細なパターンの転写が可能となる。

20

【0009】  
【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の如き従来の投影型露光装置においては、照明光源を現在より短波長化（例えば200nm以下）することは、透過光学部材として使用可能な適当な光学材料が存在しない等の理由により現時点では困難である。また、投影光学系の開口数は、現状でも既に理論的限界に近く、これ以上の大開口化はほぼ望めない状態である。

【0010】さらに、もし現状以上の大開口化が可能であるとしても、 $\pm \lambda / 2NA^2$ で表わされる焦点深度は開口数の増加に伴なって急激に減少し、実使用に必要な焦点深度がますます少なくなるという問題が顕著になってくる。一方、位相シフトレチクルについては、その製造工程が複雑になる分コストも高く、また検査及び修正方法も未だ確立されていないなど、多くの問題が残されている。

【0011】本発明は上記問題点に鑑みてなされたもので、通常のレチクルを使用しても、高解像度かつ大焦点深度が得られる投影型露光装置の実現を目的とする。

40

【0012】  
【課題を解決するための手段】本発明による投影型露光装置は、原理的に図12に示すように構成される。図12において従来と同じ部材には同一の符号を付してある。図12において、フライアイレンズ（11A、11B）は、そのレチクル側焦点面11bがレチクル16上の回路パターン（レチクルパターン）17に対してほぼ

5

フーリエ変換面の位置（投影レンズ18の瞳面19と共に役な位置）となるように配置され、かつ、上記のフライアイレンズ（11A、11B）は、複数のフライアイレンズ群に分散して配列される。また、フライアイレンズ11A、11Bのレチクル側焦点面11bにおける照明光量分布を、上記複数のフライアイレンズ群11A、11Bの個々のフライアイレンズ位置以外ではほぼ零とするために、フライアイレンズ11A、11Bの光源側（またはレチクル側、もしくはフライアイレンズと一体）に遮光部材10を設ける。このため、フライアイレンズ11A、11Bのレチクル側焦点面11bにおける照明光量分布は、各フライアイレンズ群11A、11Bの位置でのみ存在し、それ以外ではほぼ零となる。

【0013】また、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bはレチクルパターン17に対するフーリエ変換面にはほぼ等しいので、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bでの光量分布（光束の位置座標）は、レチクルパターン17に対する照明光束の入射角度 $\psi$ に対応することになる。従って、フライアイレンズ群11A、11Bの個々の位置（光軸に垂直な面内での位置）に応じて、レチクルパターン17に入射する照明光束の入射角を調整することができる。ここで、フライアイレンズ群11A、11Bは光軸AXと対称に配置するのが望ましく、また各フライアイレンズ群は少なくとも1つ以上のレンズエレメントで構成される。

【0014】さらに本発明においては、レチクルパターン17の周期性（ピッチ、配列方向等）の違いに応じて、フライアイレンズ群11A、11Bの照明光学系もしくは投影光学系の光軸に対する偏心状態を互いに異ならせて一体に保持する複数の保持部材の各々を交換可能に照明光学系の光路中に配置する構成とした。このため、複数の保持部材の各々を照明光学系の光路中に配置する、具体的には転写すべきレチクルパターンの周期性に基づいて、複数の保持部材の中からレチクルパターンに最適な1つを選択し、この選択された保持部材を光路中に配置することによって、レチクル16に入射するそれぞれの照射光束（複数本）の入射角度を、レチクルパターン17の周期性にあわせて制御することが可能となっている。

#### 【0015】

【作用】レチクル（マスク）上に描画された回路パターン17は、一般に周期的なパターンを多く含んでいる。従って、1つのフライアイレンズ群11Aからの照明光が照射されたレチクルパターン17からは、0次回折光成分 $D_0$ 及び±1次回折光成分 $D_{\pm 1}$ 、 $D_1$ 及びより高次の回折光成分が、パターンの微細度に応じた方向に発生する。このとき、照明光束（主光線）が、傾いた角度でレチクル16に入射するので、発生した各次の回折光成分も、垂直に照明された場合に比べ、ある傾き（角度

6

すれ）をもってレチクルパターン17から発生する。図12中の照明光 $L_{120}$ は、光軸に対して $\psi$ だけ傾いてレチクル16に入射する。

【0016】照明光 $L_{120}$ はレチクルパターン17により回折され、光軸AXに対して $\psi$ だけ傾いた方向に進む0次回折光 $D_0$ 、0次回折光に対して $\theta_p$ だけ傾いて進む+1次回折光 $D_p$ 、及び0次回折光 $D_0$ に対して $\theta_p$ だけ傾いて進む-1次回折光 $D_{-p}$ を発生する。ここで、照明光 $L_{120}$ は両側テレセントリックな投影光学系18の光軸AXに対して角度 $\psi$ だけ傾いてレチクルパターンに入射するので、0次回折光 $D_0$ もまた投影光学系の光軸AXに対して角度 $\psi$ だけ傾いた方向に進行する。

【0017】従って、+1次回折光 $D_p$ は光軸AXに対して $(\theta_p + \psi)$ の方向に進行し、-1次回折光 $D_{-p}$ は光軸AXに対して $(\theta_p - \psi)$ の方向に進行する。このとき、回折角 $\theta_p$ 、 $\theta_p$ はそれぞれ、

$$\sin(\theta_p + \psi) = \sin\psi = \lambda/P \quad (2)$$

$$\sin(\theta_p - \psi) = \sin\psi = \lambda/P \quad (3)$$

である。ここでは、+1次回折光 $D_p$ 、-1次回折光 $D_{-p}$ の両方が投影光学系18の瞳19を透過しているものとする。

【0018】レチクルパターン17の微細化に伴って回折角が増大すると、まず角度 $(\theta_p + \psi)$ の方向に進行する+1次回折光 $D_p$ が投影光学系18の瞳19を透過できなくなる。すなわち、 $\sin(\theta_p + \psi) > NA_p$ の関係になってくる。しかし、照明光 $L_{120}$ が光軸AXに対して傾いて入射しているため、このときの回折角でも-1次回折光 $D_{-p}$ は、投影光学系18に入射可能となる。すなわち、 $\sin(\theta_p - \psi) < NA_p$ の関係になる。

【0019】従って、ウエハ20上には0次回折光 $D_0$ と-1次回折光 $D_{-p}$ との2光束による干渉縞が生じる。この干渉縞はレチクルパターン17の像であり、レチクルパターン17が1:1のラインアンドスペースのとき、約90%のコントラストとなってウエハ20上に塗布されたレジスト層に、レチクルパターン17の像をバーニングすることが可能となる。

【0020】このときの解像限界は、

$$\sin(\theta_p - \psi) = NA_p \quad (4)$$

$$\text{となるときであり、従って, } NA_p + \sin\psi = \lambda/P \\ P = \lambda / (NA_p + \sin\psi) \quad (5)$$

が転写可能な最小パターンのレチクル側でのピッチである。

【0021】一例として、 $\sin\psi$ を $0.5 \times NA_p$ 程度に定めるとすれば、転写可能なレチクル上のパターンの最小ピッチは

$$P = \lambda / (NA_p + 0.5NA_p) \\ = 2\lambda / 3NA_p \quad (6)$$

となる。

【0022】一方、図13に示したように、照明光の瞳面19上での光量分布が投影光学系18の光軸AXを中心とする円形領域内である従来の投影型露光装置の場合、解像限界は(1)式に示したように $P = \lambda / NA$ であった。従って、従来の投影型露光装置より高い解像度が実現できることがわかる。次に、レチクルパターンに対して特定の入射角で露光光を照射することで、0次回折光成分と1次回折光成分とを用いてウエハ上に結像パターンを形成する方法によって、焦点深度も大きくなる理由について説明する。

【0023】図12のように、ウエハ20が投影光学系18の焦点位置(最良結像面)に一致している場合には、レチクルパターン17中の1点を出てウエハ20上的一点に達する各回折光成分は、投影光学系18のどの部分を通るものであってもすべて等しい光路長を有する。このため、従来のように0次回折光成分が投影光学系18の瞳面19のほぼ中心(光軸近傍)を通過する場合でも、0次回折光成分とその他の回折光成分とで光路長は相等しく、相互の波面収差も零である。しかし、ウエハ20が投影光学系18の焦点位置に一致していないデフォーカス状態の場合、斜めに入射する高次の回折光成分の光路長は光軸近傍を通る0次回折光成分に対して焦点前方(投影光学系18から遠ざかる方)では短く、焦点後方(投影光学系18に近づく方)では長くなり、その差は入射角の差に応じたものとなる。従って、0次、±1次、…の各回折光成分は相互に波面収差を形成して、焦点位置の前後におけるボケを生じることとなる。

【0024】前述のデフォーカスによる波面収差は、ウエハ20の焦点位置からのずれ量を $\Delta F$ 、各回折光成分が- (負) 側に入射するときの入射角 $\theta$ の正弦を $r$  ( $r = \sin \theta$ ) とすると、 $\Delta F r^2 / 2$ で与えられる量である。このとき、 $r$ は各回折光成分の瞳面19での光軸AXからの距離を表わす。図13に示した従来の投影型露光装置(ステッパー)では、0次回折光 $D_0$ は光軸AXの近傍を通りるので $r$  (0次) = 0となる。一方、±1次回折光 $D_{\pm 1}$ は、 $r$  (1次) =  $M \cdot \lambda / P$ となる( $M$ は投影光学系の結像倍率)。

【0025】従って、0次回折光 $D_0$ と±1次回折光 $D_{\pm 1}$ とのデフォーカスによる波面収差は、 $\Delta F \cdot M^2 (\lambda / P)^2 / 2$ となる。一方、本発明における投影型露光装置では、図12に示すように0次回折光成分 $D_0$ は光軸AXから角度 $\psi$ だけ傾いた方向に発生するから、瞳面19における0次回折光成分の光軸AXからの距離は、 $r$  (0次) =  $M \cdot \sin \psi$ である。

【0026】さらに、-1次回折光成分 $D_{-1}$ の瞳面における光軸からの距離は $r$  (-1次) =  $M \cdot \sin (\theta - \psi)$ となる。そしてこのとき、 $\sin \psi = \sin (\theta - \psi)$ となれば、0次回折光成分 $D_0$ と-1次回折光成分 $D_{-1}$ のデフォーカスによる相対的な波面収差は零と

なり、ウエハ20が焦点位置より光軸方向に若干ずれてもパターン17の像ボケは従来程大きく生じないことになる。すなわち、焦点深度が増大することになる。また、(3)式のように、 $\sin (\theta - \psi) + \sin \psi = \lambda / P$ であることから、照明光束L120のレチクル16への入射角 $\psi$ を、ピッチPのパターンに対して、 $\sin \psi = \lambda / 2P$ なる関係に定めれば、焦点深度を極めて増大させることが可能である。

## 【0027】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例による投影型露光装置の構成を示し、フライアイレンズ群11A、11Bの夫々の光源側焦点面11aに照明光の光量分布を集中せしめる光学部材(インプット光学系の一部)として、回折格子状パターン5を設けるようにした。

【0028】図1において、水銀ランプ1より発生した照明光束IL1は、楕円鏡2の第2焦点f<sub>2</sub>に集光した後、ミラー3、レンズ系4等のリレー系を介して回折格子状パターン5に照射される。このときの照明方法は、ケーラー照明法であってもクリチカル照明であっても良いが、強い光量を得るためにクリチカル照明法の方が望ましい。回折格子状パターン5から発生した回折光ILa、ILbは、リレーレンズ9によりフライアイレンズ群11A、11Bの夫々に集中して入射する。このとき、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11aと回折格子状パターン5とは、リレーレンズ9を介してほぼフーリエ変換の関係となっている。一方、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bは、レチクルパターン17のフーリエ変換面(瞳共役面)とほぼ一致するように、光軸AXと垂直な面内方向に配置されている。尚、図1では回折格子状パターン5への照明光を平行光束として図示したが、実際には発散光束となっているため、フライアイレンズ群11A、11Bへの入射光束はある大きさ(太さ)を持っている。

【0029】また保持部材11は、フライアイレンズ群11A、11Bの各中心(換言すれば、フライアイレンズ群11A、11Bの各々における2次光源像が作る各光量分布の重心)がレチクルパターンの周期性に応じて決まる量だけ、光軸AXに対して偏心した離散的な位置に設定されるように、フライアイレンズ群11A、11Bを一体に保持している。さらに、可動部材24(本発明の切替部材)には保持部材11とともに、レチクルパターン17の周期性の違いに応じて、複数のフライアイレンズ群の光軸AXに対する偏心状態を互いに異ならせて保持する複数の保持部材(不図示)が一体に固定されており、この可動部材24を駆動することによって、複数の保持部材の各々を交換可能に照明光学系の光路中に配置できるようになっているが、その詳細については後述する。

【0030】ここで、同じ保持部材に固定される複数の

フライアイレンズ群(11A、11B)の各々は、同一の形状、同一の材質(屈折率)のものであることが望ましい。さらに、図1に示した個々のフライアイレンズ群11A、11Bの各レンズエレメントは、両凸レンズとし、かつ光源側焦点面11aと入射面、レチクル側焦点面11bと射出面がそれぞれ一致する場合の例であったが、フライアイレンズ群のレンズエレメントはこの関係を厳密に満たさなくても良く、またレンズエレメントは平凸レンズ、凸平レンズ、あるいは平凹レンズであっても良い。

【0031】尚、フライアイレンズ群の光源側焦点面11aと、レチクル側焦点面11bとは、当然ながらフーリエ変換の関係である。従って、図1の例の場合には、フライアイレンズ群のレチクル側焦点面11b、すなわちフライアイレンズ群11A、11Bの射出面が、回折格子状パターン5と結像関係(共役)になっている。さて、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bより射出される光束は、コンデンサーレンズ13、15、ミラー14を介して、レチクル16を均一な照度分布で照明する。本実施例では、フライアイレンズ群11A、11Bの射出側に遮光部材12を配置し、回折格子状パターン5からの0次回折光ILc等をカットする。遮光部材12は、フライアイレンズ群に合わせて開口部をくり抜いた金属板、あるいはガラス、石英基板等に金属等の不透明物質がバーニングされたものである。遮光部材12の開口部は、それぞれフライアイレンズ群11A、11Bの各位置に対応している。このため、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bの近傍における照明光量分布をそれぞれのフライアイレンズ群11A、11Bの位置以外では零とすることができる。従って、レチクルパターン17に照射される照明光は、フライアイレンズ群11A、11Bより射出される光束(2次光源像からの光束)のみとなり、レチクルパターン17への入射角も、特定の入射角を持つ光束(複数)のみに制限される。

【0032】ここで、本実施例においては保持部材(フライアイレンズ群11A、11B)が交換可能となっているので、遮光部材12の開口部もこれに応じて可変であるか、もしくは遮光部材12も交換可能でなければならない。例えば、フライアイレンズ群11A、11Bとともに遮光部材12を保持部材に固定しておき、これらを一体に交換可能に構成することが望ましい。尚、フライアイレンズ群11A、11Bの各々へ入射する光束の大きさ(太さ)を、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11aの大きさとほぼ同等、もしくはそれ以下に定めれば、特に遮光部材12を照明光学系中(フライアイレンズ群の近傍)に設ける必要がないことは言うまでもない。

【0033】以上のように、レチクルパターン17に対して特定の入射角で照明光を照射することで、レチクル

16上のレチクルパターン17から発生した回折光は、図12で説明したのと同様に、テレセントリックな投影光学系18により集光、結像され、ウエハ20上にレチクルパターン17の像が転写される。前述の回折格子状パターン5を使って照明光束を回折させ、その回折光をフライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面内の特定の位置(フライアイレンズ群)に集中させる際、その集中位置は、回折格子状パターン5のピッチや方向性によって変化する。従って、各フライアイレンズ11A、11Bの位置に照明光を集中させるべく、回折格子状パターン5のピッチや方向性を決定する。

【0034】また、前述の如くフライアイレンズ11のレチクル側焦点面11bには回折格子状パターン5の像ができており、かつ、レチクルパターン面17とフライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bとは、フーリエ変換の関係となっているので、レチクル16での照明強度分布は、回折格子状パターン5の欠陥やゴミ等により不均一化されることはない。また、回折格子状パターン5そのものがレチクル16に結像して照度均一性を劣化させることもない。

【0035】ここで、回折格子状パターン5は透過性の基板、例えばガラス基板の表面に、Cr等の遮光膜がバーニングさせたものであっても良いし、SiO<sub>2</sub>等の誘電体膜がバーニングされた、いわゆる位相グレーティングであって良い。位相グレーティングの場合、0次回折光の発生を押さえることができる。また、回折格子状パターン5は透過性のパターンのみでなく、反射性のパターンであっても良い。例えばガラス等の平面反射鏡の表面に高反射率膜、すなわちAl等の金属膜や誘電体多層膜を回折格子状にバーニングしたものでも良く、さらに反射光に位相差を与えるための段差が回折格子状にバーニングされた高反射率鏡であっても良い。

【0036】回折格子状パターン5が反射性のものである場合には図2に示すように、反射性回折格子状パターン5Aにリレーレンズ系4からの照明光束を照射し、そこで反射回折された回折光をリレーレンズ9を介してフライアイレンズ群11A、11B近傍に集中させればよい。尚、個々のフライアイレンズ群11A、11Bが移動した(すなわち保持部材を交換した)場合にも、それぞれのフライアイレンズ群11A、11Bの近傍に照明光を集中できるように、回折格子状パターン5又は5Aはピッチの異なるものに交換可能であるものとする。

【0037】また、回折格子状パターン5又は5Aは光軸AXと垂直な面内で任意の方向に回転可能であっても良い。このようにすると、レチクルパターン17中のラインアンドスペースパターンのピッチ方向がX、Y方向と異なる場合(すなわちピッチ方向に応じてフライアイレンズ群11A、11Bが移動(光軸AXを中心として回転)した場合)にも対応できる。

【0038】さらに、リレーレンズ9を複数枚のレンズ

11

より成るズームレンズ系（アフォーカルズームエキスパンダ等）とし、焦点距離を変えることにより集光位置を変えることもできる。但し、このときは回折格子状パターン5又は5Aと、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11aとがほぼフーリエ変換の関係になることをくずさないようにする。

【0039】ところで、図1には装置全体を統括制御する主制御系50と、レチクル16が投影光学系18の直上に搬送される途中でレチクルパターン17の脇に形成された名称を表すバーコードBCを読み取るバーコードリーダ52と、オペレータからのコマンドやデータを入力するキーボード54と、複数の保持部材（フライアイレンズ群11A、11B及び遮光部材12）が固定された可動部材を駆動するための駆動系（モータ、ギャトレイン等）56とが設けられている。主制御系50内には、この投影型露光装置（例えばステッパー）で扱うべき複数枚のレチクルの名称と、各名称に対応したステッパーの動作パラメータとが予め登録されている。そして、主制御系50はバーコードリーダ52がレチクルバーコードBCを読み取ると、その名称に対応した動作パラメタの1つとして、予め登録されているフライアイレンズ群11A、11Bの位置（瞳共役面内の位置）に関する情報（レチクルパターンの周期性に対応している）に最も見合った保持部材を、複数の保持部材の中から1つ選択して、所定の駆動指令を駆動系56に出力する。これによって、先に選択された保持部材（フライアイレンズ群11A、11B）が図12で説明したような位置に設定されることになる。以上の動作は、キーボード54からオペレータがコマンドとデータを主制御系50へ直接入力することによっても実行できる。

【0040】以上、第1の実施例について説明したが、フライアイレンズ群の光源側焦点面での光量分布を、個々のフライアイレンズ位置近傍に集中させる光学部材は、回折格子状パターン5、又は5Aのみには限られない。前述の図2に示した反射性の回折格子状パターン5Aの代わりに、可動平面鏡6を図3に示すように配置し、かつ可動平面鏡6を回転可動ならしめるモータ等の駆動部材6aを設ける。そして、駆動部材6aによって平面鏡6を回転または振動させれば、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面（入射面）11a内での光量分布を時間によって変更することができる。露光動作中に平面鏡6を適当な複数の角度位置に回動させれば、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a内での光量分布を、複数のフライアイレンズ群のうちいずれか1つのフライアイレンズ群の位置近傍のみに集中させることができる。尚、このような可動反射鏡6を使う場合は、リレーレンズ系9を省略してしまっても良い。

【0041】さらに、個々のフライアイレンズ群11A、11Bが移動（保持部材11を交換）した場合に

12

は、前述の平面鏡6の複数の角度位置の角度座標を変更し、新しい位置のフライアイレンズ群の近傍に反射光束を集中させねば良い。ところで、図3中に示した遮光部材12はフライアイレンズ群11A、11Bの入射面側に設けたが、図1と同様に射出面側に設けてても良い。

【0042】図4は、フライアイレンズ群の夫々に、照明光束を集光させる光学部材として、光ファイバー束7を用いた場合の略図である。リレーレンズ系4より光源側、及びフライアイレンズ群11A、11Bよりレチクル側は図1と同じ構成であるとする。光源から発生し、リレーレンズ系4を透過した照明光は、光ファイバー束7の入射部7aに所定の開口数（NA）に調整されて入射する。光ファイバー束7は射出部7bに至る間に、フライアイレンズ群の数に対応した複数の束に分割され、それぞれの射出部7bは、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a近傍に配置される。このとき、光ファイバー束7の各射出部7bとフライアイレンズ群11の間に、それぞれレンズ（例えばフィールドレンズ）を設けても良いし、またそのレンズにより、フライアイレンズ群11の光源側焦点面11aと、光ファイバー射出部7bの光射出面とをフーリエ変換の関係としても良い。さらに、各射出部7b（または射出部7bとフライアイレンズ群11bとの間のレンズ）は、モータ等の駆動部材により光軸と垂直な面内で一次元、または二次元に可動とすれば、保持部材の交換に伴ってフライアイレンズ群が移動した場合にも、照明光束を移動後の各フライアイレンズ群の位置近傍に集中させることができる。

【0043】図5は各フライアイレンズ群に照明光束を集中させる光学部材として、複数の屈折面を有するプリズム8を用いた例である。図5中のプリズム8は光軸AXを境界として2つの屈折面に分割されており、光軸AXより上方に入射した照明光は上方へ屈折し、光軸AXより下方に入射した照明光は下方へ屈折させる。従って、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a上で、プリズム8の屈折角に応じて、個々のフライアイレンズ群11A、11B近傍に照明光を集中させることができる。

【0044】プリズム8の屈折面の分割数は2面に限つたものではなく、フライアイレンズ群の数に応じて何面に分割されていても良い。また、分割される位置は光軸AXと対称な位置にはこだわらなくとも良い。さらにプリズム8を交換することにより、保持部材の交換に伴ってフライアイレンズ群11A、11Bが移動した場合にも、それぞれのフライアイレンズ群11A、11Bの位置に照明光束を適確に集中させることができる。

【0045】また、このときのプリズム8はウォラストンプリズム等の偏光性の光分割器であっても良い。但し、この場合には分割された光束同志の偏光方向が異なるため、ウエハ20のレジストの偏光特性を考慮して、

13

その偏光特性は一方向に揃えた方が良い。また、プリズム8の代わりに複数の角度の異なる反射面を持つ反射鏡を図3のように配置すれば、駆動部材6aは不用となる。装置内に、このプリズム等の交換機能を有していると良いことは言うまでもない。また、このようなプリズム等を使う場合も、リレーレンズ系9を省略することができる。

【0046】図6は各フライアイレンズ群へ照明光束を集中させる光学部材として、複数のミラー8a、8b、8c、8dを用いた例である。図6において、リレーレンズ系4を透過した照明光は、1次ミラー8b、8cにより2方向に分離されるように反射されて、2次ミラー8a、8dに導かれ、再び反射されてフライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11aに達する。ミラー8a、8b、8c、8dの各々に、位置調整機構及び光軸AXの回りの回転角度調整機構を設けておけば、保持部材の交換に伴うフライアイレンズ群11A、11Bの移動後も、照明光束をそれぞれのフライアイレンズ群11A、11Bの近傍に集中させることができる。また、各ミラー8a、8b、8c、8dは平面ミラーであっても、凸面あるいは凹面ミラーであっても良い。

【0047】また、2次ミラー8a、8dとフライアイレンズ群11A、11Bの夫々の間に、レンズを設けても良い。図6では1次ミラー8b、8c、2次ミラー8a、8d共に2個ずつとしたが、数量はこれに限定されるものではなく、フライアイレンズ群の数によって適宜ミラーを配置すれば良い。以上の各実施例においては、フライアイレンズ群をすべて2個としたが、フライアイレンズ群の個数は3個以上であってももちろん良い。また、個々のフライアイレンズ群に照明光を集中させる光学部材についても、主に2ヶ所への光の集中を述べたが、フライアイレンズ群の数に応じて複数の位置へ照明光を集中せしめることは言うまでもない。以上の実施例は、全て任意の位置（フライアイレンズ群の位置に対応する）への照明光の集中が可能である。また、各フライアイレンズ群へ照明光を集中させる光学部材は、実施例に挙げた型式にはとどまらず、他のいかなるものであっても良い。

【0048】また、遮光部材12は前述の図12の如く、フライアイレンズ群の光源側焦点面11a近傍に設けられた遮光部材10に置換しても良いし、図1から図6までに示される各実施例と、図12に示した遮光部材10を組み合わせて使用しても良い。また、遮光部材10、12はフライアイレンズ群のレチクル側焦点面11bや光源側焦点面11aに限らず、任意の位置に配置することができるが、例えば上記2つの焦点面11a、11bの間などは好適な場所である。

【0049】また、個々のフライアイレンズ群11A、11Bの近傍のみへ照明光を集中させる光学部材（インプット光学系）は、レチクル16を照明する照明光量の

14

損失を防止するためのものであり、本発明の投影型露光装置の特徴である高解像度及び大焦点深度の効果を得るための構成とは直接関連するものではない。従って、上記光学部材は複数のフライアイレンズ群の夫々に照明光をフラッドに入射させるだけの大きな径のレンズ系だけでもよい。

【0050】図7は本発明の他の実施例による投影型露光装置（ステッパー）の構成を示す図であって、ミラー14、コンデンサーレンズ15、レチクル16、投影光学系18は図1と同様である。尚、ここではフライアイレンズ群11A、11Bを保持する保持部材11及び可動部材24は省略してある。また、フライアイレンズ群11A、11Bより光源側は前述の図1～図6あるいは図12に示した構成のいずれかとなっている。さらに、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bの近傍に、任意の開口部（透過部）を有する遮光部材12aが設けられ、フライアイレンズ群11A、11Bから射出される照明光束を制限する。

【0051】リレーレンズ13aに対するフライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bのフーリエ変換はレチクルパターン17と共役面となるので、ここに可変視野絞り（レチクルブラインド）13dを設ける。そして、再びリレーレンズ13bによりフーリエ変換され、フライアイレンズ群11A、11Bのレチクル側焦点面11bの共役面（フーリエ面）12bに到る。先の遮光部材12aは、このフーリエ面12bに設けても良い。

【0052】各フライアイレンズ群11A、11Bからの照明光束は、さらにコンデンサーレンズ13c、15、及びミラー14によってレチクル16に導かれる。尚、フライアイレンズ群11A、11Bの各々に入射する照明光束が有効に、そこのみに集中できる系であれば、遮光部材を図中の12aまたは12bの位置に設けなくても全く問題ない。このような場合でも、視野絞り（レチクルブラインド）13dの使用が可能である。

【0053】以上のいずれの実施例においても、遮光部材10、12、12aの開口部1つ当たりの径（またはフライアイレンズ群の夫々の射出端面積）は、その開口部を透過する照明光束のレチクル16に対する開口数と投影光学系18のレチクル側開口数（NA<sub>R</sub>）との比、いわゆる $\sigma$ 値が0.1～0.3程度になるように設定することが望ましい。 $\sigma$ 値が0.1より小さいと、転写像のパターン忠実度が劣化し、0.3より大きいと、解像度向上や焦点深度増大の効果が弱くなってしまう。また、フライアイレンズ群の1つによって決まる $\sigma$ 値の条件（ $0.1 \leq \sigma \leq 0.3$ 程度）を満たすために、個々のフライアイレンズ群11A、11Bの射出端面積の大きさ（光軸と垂直な面内方向の大きさ）を、照明光束（射出光束）にあわせて決定しても良い。

【0054】また、各フライアイレンズ群11A、11B

15

Bのレチクル側焦点面11b近傍に、それぞれ可変開口絞り(遮光部材12と同等のもの)を設けて、各フライアイレンズ群からの光束の開口数を可変として、 $\sigma$ 値を変えても良い。それとあわせて、投影光学系18内の瞳(入射瞳もしくは射出瞳)19近傍に可変開口絞り(NA制限絞り)を設けて、投影系としてのNAも、 $\sigma$ 値をより最適化することもできる。

【0055】また、各フライアイレンズ群に入射する光束は、各フライアイレンズ群の入射端面よりもある程度外側まで広く照明されており、かつ、各フライアイレンズ群に入射する光量分布が均一であると、レチクルパターン面での照度均一性を一層高められるので好ましい。次に、以上の各実施例に好適な保持部材交換用の可動部材24(本発明の切替部材)の構成を図8、図9を用いて説明する。

【0056】図8は可動部材の具体的な構成を示す図であって、ここでは4つの保持部材11、21、22、23が約90°間隔で、回転軸24aを中心として回転可能な可動部材(ターレット板)24上に配置されている。図8ではフライアイレンズ群11A、11Bの各々に照明光束ILa、ILb(点線)が入射しており、保持部材11が照明光学系中に配置されている様子を示している。このとき、保持部材11はその中心と光軸AXとがほぼ一致するように照明光学系中に配置される。複数のフライアイレンズ群11A、11Bは、その各中心がレチクルパターンの周期性に応じて決まる量だけ、照明光学系の光軸AXに対して偏心した離散的位置に設定されるように一体に保持部材11に保持されており、ここでは保持部材11の中心(光軸AX)に関してほぼ対称に配置されている。

【0057】さて、4つの保持部材11、21、22、23の各々は、レチクルパターン17の周期性の違いに応じて複数のフライアイレンズ群を、光軸AX(保持部材の中心)に対する偏心状態(すなわち光軸AXとほぼ垂直な面内での位置)を互いに異ならせて保持している。保持部材11、21は共に2つのフライアイレンズ群(11A、11B)、(21A、21B)を有しており、これらフライアイレンズ群は照明光学系中に配置されたときに、その配列方向が互いにほぼ直交するよう固定されている。保持部材22は、4つのフライアイレンズ群22A～22Dをその中心22c(光軸AX)からほぼ等距離に配置、固定する。保持部材23は1つのフライアイレンズ群23Aがほぼ中心に固定され、従来方式の露光を行う場合に用いられる。

【0058】図8から明らかなように、前述の如くレチクルバーコードBCの情報に従って、モータ及びギア等から成る駆動素子25によりターレット板24を回転させることによって、4つの保持部材11、21、22、23の各々を交換でき、レチクルパターンの周期性(ピッチ、配列方向等)に応じた所望の保持部材を照明光学

16

系中に配置することが可能となる。

【0059】ここで、4つの保持部材の各々では複数のフライアイレンズ群が所定の位置関係で固定されているため、保持部材の交換に際して複数のフライアイレンズ群間で位置調整を行う必要はない。従って、保持部材全体を照明光学系の光軸AXに対して位置合わせすれば良いので、精密な位置決め機構を必要としないといった利点がある。このとき、駆動素子25は位置決め用としても使用されるので、例えばロータリーエンコーダ等の回転角度計測部材を設けておくことが望ましい。尚、保持部材を成す複数のフライアイレンズ群の各々は、図8に示したように16個(フライアイレンズ群23Aのみ36個)のレンズエレメントで構成されるが、これに限定されるものではなく、極端な場合1個のレンズエレメントで構成されたフライアイレンズ群としても良い。

10

【0060】また、図1では保持部材11の後方(レチクル側)に遮光部材12を配置していたが、保持部材の各々においてフライアイレンズ群以外を遮光部とすれば、特に遮光部材12を設ける必要はない。このとき、

20

ターレット板24は透過部でも遮光部であっても良い。さらに、ターレット板24に固定すべき保持部材の数、及び複数のフライアイレンズ群の偏心状態(位置)は図8に示したものに限られるものでなく、転写すべきレチクルパターンの周期性に応じて任意に設定しておけば良い。また、レチクルパターンへの照明光束の入射角度等を厳密に設定する必要がある場合には、保持部材において複数のフライアイレンズ群の各々を、光軸AXを中心としてその半径方向(放射方向)に微動可能に、さらに光軸AXを中心として保持部材(フライアイレンズ群11A、11B)を回転可能に構成しても良い。この際、複数のフライアイレンズ群の各々の近傍に照明光束を集中するための光学部材(インプット光学系)として、特に光ファイバー束7(図4)を用いる場合には、フライアイレンズ群の移動に伴ってその射出端7bも移動するように構成しておく、例えば射出端7bとフライアイレンズ群とを一体に固定しておけば良い。また、保持部材の回転に伴って矩形状のフライアイレンズ群も相対的に傾くが、保持部材を回転させる際には上記傾きを生じさせずに、フライアイレンズ群の位置のみが移動するよう構成することが望ましい。

30

【0061】また、保持部材を交換する際には上記インプット光学系、例えば回折格子状パターン5及びリレーレンズ9(図1)や光ファイバー束7(図4)等も交換する必要があるので、保持部材毎にその複数のフライアイレンズ群の偏心状態に応じたインプット光学系を一体に構成して、可動部材24に固定しておくことが望ましい。

40

【0062】図9は保持部材交換用の可動部材の変形例を示す図であって、インプット光学系(光ファイバー束71、72)と保持部材(32、34)とが一体に可動

部材（支持棒36）に固定されている。ここでは光ファイバー束を用いる場合について説明するが、インプット光学系は図1、図5中などに示した他の光学系であっても構わない。尚、基本的な構成（インプット光学系として光ファイバー束を用いた例）は図4で説明しているので、ここでは簡単に説明する。

【0063】図9において、2つのフライアイレンズ群30A、30Bは保持部材32により一体に保持され、光ファイバー束71はその入射部71aと射出部71bとが共に固定具33により保持されるとともに、保持部材32は固定具33に一体に固定されている。また、保持部材32の内部はフライアイレンズ群30A、30Bを除いて遮光部（図中の斜線部、例えば図1の遮光部材12に対応）となっている。一方、交換用のフライアイレンズ群31A、31Bは保持部材34により一体に保持され、光ファイバー束72はその入射部72aと射出部72bとが共に固定具35により保持されるとともに、保持部材34は固定具35に一体に固定されており、上記と同様にその内部は遮光部となっている。さらに、固定具33、35は連結部材37により接続、固定されている。従って、保持部材の交換に際しては固定具ごと交換を行えば良い。尚、図9では固定具33（保持部材32）が照明光学系中に存在し、交換用の固定具35は照明光学系から外れた位置に設定されている。また、リレーレンズ系4より光源側、及びコンデンサーレンズ13よりレチクル側は、例えば図1と同じ構成であるとする。

【0064】ところで、保持部材の交換は、駆動素子38により支持棒36を押し引きすることによって行われる。従って、図9の如く保持部材の交換に際してフライアイレンズ群と光ファイバー束とを一体に交換可能に構成しておけば、上記一体となった部材群（固定具）と照明光学系全体とを位置合わせするだけで良く、交換毎の各部材（フライアイレンズ群、光ファイバー束等）間の位置調整が不要となるといった利点がある。このとき、駆動素子38は位置決め用としても使用されるので、例えばリニアリーエンコーダ、ポテンショメータ等の位置計測部材を設けておくことが望ましい。

【0065】尚、図8及び図9中に示した保持部材毎のフライアイレンズ群、及びフライアイレンズ群を成すレンズエレメントの数は任意で良く、さらにフライアイレンズ群及びレンズエレメントの入射面または射出面の形状は長方形に限定されるものではない。さて、図8及び図9に示した複数のフライアイレンズ群の各位置（光軸と垂直な面内での位置）、換言すれば選択すべき保持部材は、転写すべきレチクルパターンに応じて決定（変更）するのが良い。この場合の決定（選択）方法は作用の項で述べた通り、各フライアイレンズ群からの照明光束が転写すべきパターンの微細度（ピッチ）に対して最適な解像度、及び焦点深度の向上効果を得られるように

レチクルパターンに入射する位置（入射角 $\psi$ ）、もしくはその近傍にフライアイレンズ群を有する保持部材とすれば良い。

【0066】次に、最適な保持部材を選択するための各フライアイレンズ群の位置決定の具体例を、図10及び図11（A）～（D）を用いて説明する。図10はフライアイレンズ群11A、11Bからレチクルパターン17までの部分を模式的に表わす図であり、フライアイレンズ群11のレチクル側焦点面11bが、レチクルパターン17のフーリエ変換面12cと一致している。また、このとき両者をフーリエ変換の関係とならしめるレンズ、またはレンズ群を、一枚のレンズ15として表わしてある。さらに、レンズ15のフライアイレンズ側主点からフライアイレンズ群11のレチクル側焦点面11bまでの距離と、レンズ15のレチクル側主点からレチクルパターン17までの距離は共にfであるとする。

【0067】図11（A）、（C）は共にレチクルパターン17中に形成される一部分のパターンの例を表わす図であり、図11（B）は図11（A）のレチクルパターンの場合に最適なフライアイレンズ群の中心のフーリエ変換面（または投影光学系の瞳面）での位置を示し、図11（D）は図11（C）のレチクルパターンの場合に最適な各フライアイレンズ群の位置を表わす図である。

【0068】図11（A）は、いわゆる1次元ラインアンドスペースパターンであって、透過部と遮光部が等しい幅でY方向に帯状に並び、それらがX方向にピッチPで規則的に並んでいる。このとき、個々のフライアイレンズ群の最適位置は、図11（B）に示すようにフーリエ変換面内に仮定したY方向の線分L $\alpha$ 上、及び線分L $\beta$ 上の任意の位置となる。図11（B）はレチクルパターン17に対するフーリエ変換面12c（11b）を光軸AX方向から見た図であり、かつ、面12c内の座標系X、Yは、同一方向からレチクルパターン17を見た図11（A）と同一にしてある。さて、図11（B）において光軸AXが通る中心Cから、各線分L $\alpha$ 、L $\beta$ までの距離 $\alpha$ 、 $\beta$ は $\alpha = \beta$ であり、 $\lambda$ を露光波長としたとき、 $\alpha = \beta = f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P)$ に等しい。この距離 $\alpha$ 、 $\beta$ を $f \cdot \sin \psi$ と表わせれば、 $\sin \psi = \lambda / 2P$ であり、これは作用の項で述べた数値と一致している。従って、各フライアイレンズの各中心位置が線分L $\alpha$ 、L $\beta$ 上にあれば、図11（A）に示す如きラインアンドスペースパターンに対して、各フライアイレンズ群からの照明光により発生する0次回折光と±1次回折光のうちのどちらか一方との2つの回折光は、投影光学系瞳面19において光軸AXからほぼ等距離となる位置を通る。従って、前述の如くラインアンドスペースパターン（図11（A））に対する焦点深度を最大と/or>することができ、かつ高解像度を得ることができる。

【0069】次に、図11（C）はレチクルパターン

19

が、いわゆる孤立スペースパターンである場合であり、かつ、パターンのX方向（横方向）ピッチが $P_x$ 、Y方向（縦方向）ピッチが $P_y$ となっている。図11(D)はこの場合の各フライアイレンズ群の最適位置を表す図であって、図11(C)との位置、回転関係は図11(A)、(B)の関係と同じである。図11(C)の如き、2次元パターンに照明光が入射すると、パターンの2次元方向の周期性( $X : P_x$ ,  $Y : P_y$ )に応じた2次元方向に回折光が発生する。図11(C)の如き2次元パターンにおいても、回折光中の0次回折光と±1次回折光のうちのいずれか一方とが投影光学系瞳面19において光軸AXからほぼ等距離となるようにすれば、焦点深度を最大とすることができます。図11(C)のパターンではX方向のピッチは $P_x$ であるから、図11(D)に示す如く、 $\alpha = \beta = f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P_x)$ となる線分 $L_\alpha$ 、 $L_\beta$ 上に各フライアイレンズ群の中心があれば、パターンのX方向成分について焦点深度を最大とすることができます。同様に、 $\gamma = \epsilon = f \cdot (1/2) \cdot (\lambda/P_y)$ となる線分 $L_\gamma$ 、 $L_\epsilon$ 上に各フライアイレンズ群の中心があれば、パターンY方向成分について焦点深度を最大とすることができます。

【0070】以上、図11(B)または(D)に示した各位置に配置したフライアイレンズ群からの照明光束がレチクルパターン17に入射すると、0次回折光成分 $D_0$ と、+1次回折光成分 $D_1$ または-1次回折光成分 $D_{-1}$ のいずれか一方とが、投影光学系18内の瞳面19では光軸AXからほぼ等距離となる光路を通る。従って、作用の項で述べた通り、高解像及び大焦点深度の投影型露光装置が実現できる。

【0071】以上、レチクルパターン17として図11(A)または(C)に示した2例のみを考えたが、他のパターンであってもその周期性（微細度）に着目し、そのパターンからの+1次回折光成分または-1次回折光成分のいずれか一方と、0次回折光成分との2光束が、投影光学系内の瞳面19では光軸AXからほぼ等距離になる光路を通るような位置に各フライアイレンズ群の中心を配置すれば良い。また、図11(A)、(C)のパターン例ではライン部とスペース部の比（デューティ比）が1:1のパターンであったため、発生する回折光中では±1次回折光が強くなる。このため、±1次回折光のうちの一方と0次回折光との位置関係に着目したが、パターンがデューティ比1:1から異なる場合等では他の回折光、例えば±2次回折光のうちの一方と0次回折光との位置関係が、投影光学系瞳面19において光軸AXからほぼ等距離となるようにしても良い。

【0072】また、レチクルパターン17が図11(D)に示す如く2次元の周期性パターンを含む場合、特定の1つの0次回折光成分に着目したとき、投影光学系の瞳面19上ではその1つの0次回折光成分を中心としてX方向（第1方向）に分布する1次以上の高次回折

20

光成分と、Y方向（第2方向）に分布する1次以上の高次回折光成分とが存在し得る。そこで、特定の1つの0次回折光成分に対して2次元のパターンの結像を良好に行うものとすると、第1方向に分布する高次回折光成分の1つと、第2方向に分布する高次回折光成分の1つと、特定の0次回折光成分との3つが、瞳面19上で光軸AXからほぼ等距離に分布するように、特定の0次回折光成分（1つのフライアイレンズ群）の位置を調節すれば良い。例えば、図11(D)中で各フライアイレンズ群の中心位置を点 $P_\alpha$ 、 $P_\beta$ 、 $P_\gamma$ 、 $P_\epsilon$ のいずれかと一致させると良い。点 $P_\alpha$ 、 $P_\beta$ 、 $P_\gamma$ 、 $P_\epsilon$ はいずれも線分 $L_\alpha$ または $L_\beta$ （X方向の周期性について最適な位置、すなわち0次回折光とX方向の±1次回折光の一方とが投影光学系瞳面19上で光軸からほぼ等距離となる位置）、及び線分 $L_\gamma$ 、 $L_\epsilon$ （Y方向の周期性について最適な位置）の交点であるため、X方向、Y方向のいずれのパターン方向についても最適な光源位置である。

【0073】尚、以上において2次元パターンとしてレチクル上の同一箇所に2次元の方向性を有するパターンを仮定したが、同一レチクルパターン中の異なる位置に異なる方向性を有する複数のパターンが存在する場合にも上記の方法を適用することができる。レチクル上のパターンが複数の方向性又は微細度を有している場合、フライアイレンズ群の最適位置は、上述の様にパターンの各方向性及び微細度に対応したものとなるが、あるいは各最適位置の平均位置にフライアイレンズ群を配置しても良い。また、この平均位置は、パターンの微細度や重要度に応じた重みを加味した荷重平均としても良い。

【0074】以上、複数のフライアイレンズ群の位置決定の例を示したが、照明光束は前述の光学部材（回折格子状パターン、可動ミラー、プリズム或いはファイバー等）により、保持部材の交換に伴う各フライアイレンズ群の移動位置に対応して集中させたが、このような集中化のための光学部材は設けなくても良い。また、各フライアイレンズ群を射出した光束は、それぞれレチクルに対して傾いて入射する。このとき、これらの傾いた入射光束（複数）の光量重心の方向がレチクルに対して垂直でないと、ウエハ20の微小デフォーカス時に、転写像の位置がウエハ面内方向にシフトするという問題が発生する。これを防止するために、各フライアイレンズ群からの照明光束（複数）の光量重心の方向は、レチクルパターンと垂直、すなわち光軸AXと平行であるようにする。つまり、各フライアイレンズ群に光軸（中心線）を仮定したとき、投影光学系18の光軸AXを基準としたその光軸（中心線）のフーリエ変換面内での位置ベクトルと、各フライアイレンズ群から射出される光量との積のベクトル和が零になるようにすれば良い。

【0075】また、より簡単な方法としては、フライアイレンズ群を $2m$ 個（ $m$ は自然数）とし、そのうちの $m$

21

個の位置を前述の最適化方法(図12)により決定し、残るm個は前記m個と光軸AXについて対称となる位置に配置すれば良い。さらに装置が、例えばn個(nは自然数)のフライアイレンズ群を有している場合に、必要なフライアイレンズ群の数がn個より少ないm個である場合、残る(n-m)個のフライアイレンズ群は使用しなくて良い。(n-m)個のフライアイレンズ群を使用しなくするためにには、(n-m)個のフライアイレンズ群の位置に遮光部材10、または12を設けておけば良い。またこのとき、各フライアイレンズ群の位置に照明光を集中する光学部材は、この(n-m)個のフライアイレンズへは集中を行なわないようにしておくと良い。

【0076】遮光部材10または12は、保持部材の交換に伴う各フライアイレンズ群の移動に応じて開口部の位置が可変であることが望ましい。あるいは、各フライアイレンズの位置に応じて遮光部材10、12を交換とする機構を設け、かつ何種類かの遮光部材を装置内に有していても良い。以上の各実施例においては、複数の保持部材(フライアイレンズ群)を交換可能に構成することが前提となっていたが、本発明では特に保持部材を交換可能に構成しておく必要がないことは言うまでもなく、例えば図8中に示した保持部材11のみを単に照明光学系中に配置しておくだけでも、当然ながら本発明の効果(高解像度、大焦点深度の投影型露光装置の実現)を得ることができる。尚、光源からの照明光量の損失が多少あっても構わないときは、特にフライアイレンズ群に照明光束を集中させる光学部材(インプット光学系)を配置する必要はない。

【0077】以上の実施例において、光源は水銀ランプ1を用いて説明したが、他の輝線ランプやレーザ(エキシマーレーザ等)、あるいは連続スペクトルの光源であっても良い。また、照明光学系中の光学部材の大部分をレンズとしたが、ミラー(凹面鏡、凸面鏡)であっても良い。投影光学系としては屈折系であっても、反射系であっても、あるいは反射屈折系であっても良い。また、以上の実施例においては両側テレセントリックな投影光学系を使用したが、片側テレセントリック系でも、非テレセントリック系でも良い。さらに、光源から発生する照明光のうち、特定の波長の光のみを利用するため、照明光学系中に干渉フィルター等の単色化手段を設けても良い。

【0078】また、フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a近傍に、拡散板や光ファイバー束等の光散乱部材を用いることで、照明光の均一化を行なっても良い。あるいは、本発明の実施例で使用されたフライアイレンズ群とは別に、さらにフライアイレンズ(以後、別フライアイレンズ)等のオプチカルインテグレータを用いて、照明光の均一化を行なっても良い。このとき別フライアイレンズは、上記フライアイレンズ群11A、11Bの光源側焦点面11a近傍での照明光量

10

20

30

40

50

22

分布を可変とする光学部材、例えば図1、図2に示した回折格子状パターン5、または5Aよりも光源(ランプ)1側であることが望ましい。さらに、別フライアイレンズのレンズエレメントの断面形状は正方形(矩形)よりも多角形、特に正六角形にするのが望ましい。

【0079】図14は本発明の各実施例に適用される投影型露光装置のウエハステージ周りの構成を示し、投影光学系18のウエハ20上での投影視野領域内に向けて斜めにビーム100Aを照射し、その反射ビーム100Bを受光する斜入射式のオートフォーカスセンサーを設ける。このフォーカスセンサーは、ウエハ20の表面と投影光学系18の最良結像面との光軸AX方向のずれを検出するもので、そのずれが零となるように、ウエハ20を載置するZステージ110のモータ112をサーボ制御する。これによってZステージ110はXYステージ114に対して上下方向(光軸方向)に微動し、常にベストフォーカス状態で露光が行なわれる。このようなフォーカス制御が可能な露光装置においては、そのZステージ110を露光動作中に光軸方向に制御された速度特性で移動させることで、さらに見かけ上の焦点深度を拡大させることができる。この手法は、投影光学系18の像側(ウエハ側)がテレセントリックであれば、どのようなタイプの投影型露光装置(ステッパー)でも実現可能である。

【0080】図15(A)は、Zステージ110の露光中の移動に伴ってレジスト層内に得られる光軸方向の光量(dose)分布あるいは存在確率を表し、図15(B)は図15(A)のような分布を得るためにZステージ110の速度特性を表す。図15(A)、(B)とも縦軸はZ(光軸)方向のウエハ位置を表し、図15(A)の横軸は存在確率を表し、図15(B)の横軸はZステージ110の速度Vを表す。また同図中、位置Z<sub>0</sub>はベストフォーカス位置である。

【0081】ここでは位置Z<sub>0</sub>から上下に投影光学系18の理論的な焦点深度±ΔD<sub>0</sub>fだけ離れた2つの位置+Z<sub>1</sub>、-Z<sub>1</sub>で存在確率をほぼ等しい極大値にし、その間の位置+Z<sub>2</sub>～-Z<sub>2</sub>の範囲では存在確率を小さな値に押さえるようにした。そのために、Zステージ110は、照明系内部のシャッターの開放開始時の位置-Z<sub>2</sub>で、低い速度V<sub>1</sub>で等速に上下へ移動し、シャッターが全開になった直後に、高い速度V<sub>2</sub>まで加速する。速度V<sub>2</sub>でZステージ110が等速に上下移動している間、存在確率は低い値に押されられ、位置+Z<sub>2</sub>に達した時点でZステージ110は低い速度V<sub>1</sub>に向けて減速を始め、位置+Z<sub>1</sub>で存在確率が極大値になる。このときほぼ同時にシャッターの閉成指令が出力され、位置+Z<sub>2</sub>でシャッターが完全に閉じる。

【0082】このように、ウエハ20のレジスト層に与えられる露光量の光軸方向に関する光量分布(存在確率)を焦点深度の幅(2・ΔD<sub>0</sub>f)程度だけ離れた2

23

点で極大値となるように、Zステージ110の速度を制御すると、レジスト層に形成されるパターンのコントラストは若干低下するものの、光軸方向の広い範囲に渡つて一様な解像力が得られる。

【0083】以上の累進焦点露光方法は、本発明の各実施例に示したような特別な照明方式を採用した投影露光装置でも全く同じように使用することができ、見かけ上の焦点深度は、本発明の照明方式によって得られる拡大分と、累積焦点露光方式によって得られる拡大分とのほぼ積に応じた量だけ拡大される。しかも特別な照明方式を探用していることから、解像力そのものも高くなる。例えば、従来の1/5縮小の1線ステッパー（投影レンズのNA0.42）に位相シフトレチクルを組み合わせて露光できる最小線幅は0.3~0.35μm程度であり、焦点深度の拡大率は最大40%程度である。これに對して本発明のような特別な照明方式と同じ1線ステッパーに組み込んで、普通のレチクルで実験したところ、最小線幅は0.25~0.3μm程度が得られ、焦点深度の拡大率も位相シフトレチクルの使用時と同程度に得られた。

## 【0084】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、通常のマスクを使用しながら、従来よりも高解像度、大焦点深度の投影型露光装置を実現することができる。しかも本発明によれば、すでに半導体生産現場で稼働中の投影型露光装置の照明系部分を替えるだけで良く、稼働中の装置の投影光学系をそのまま利用して、それまで以上の高解像力化が可能となる。

【0085】また、本発明の各実施例に示したフライアイレンズ群への照明光の集中化方式によれば、光源からの照明光量の損失を最小とすることができますから、露光装置としてのスループットも極端に低下することがないといった効果もある。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による投影型露光装置の構成を示す図である。

【図2】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第1の変形例を示す図である。

【図3】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第2の変形例を示す図である。

24

【図4】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第3の変形例を示す図である。

【図5】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第4の変形例を示す図である。

【図6】フライアイレンズ群への照明光の集中化の第5の変形例を示す図である。

【図7】図1の装置にレチクルブラインドを組み込んだときの照明系を示す図である。

10 【図8】複数のフライアイレンズ群から成る4つの保持部材の交換を行う可動部材（本発明の切替部材）の具体的な構成を示す図である。

【図9】複数の保持部材の交換を行う可動部材の変形例を示す図である。

【図10】フライアイレンズ群から投影光学系までの光路を模式的に表した図である。

【図11】(A)、(C)はマスク上に形成されたレチクルパターンの一例を示す平面図である。(B)、(D)は(A)、(C)の夫々に対応した瞳共役面における各フライアイレンズ群の配置を説明する図である。

20 【図12】本発明の原理を説明する図である。

【図13】従来の投影型露光装置の構成を示す図である。

【図14】投影型露光装置のウエハステージ回りの構成を示す図である。

【図15】ウエハステージのうちのZステージを用いて累進焦点露光方法を実行する際の露光量の存在確率と、Zステージの速度特性とを示すグラフである。

## 【符号の説明】

5 回折格子状パターン

9 リレーレンズ系

11A、11B フライアイレンズ系

10、12 遮光部材（空間フィルター）

15 コンデンサーレンズ

16 レチクル

17 レチクルパターン

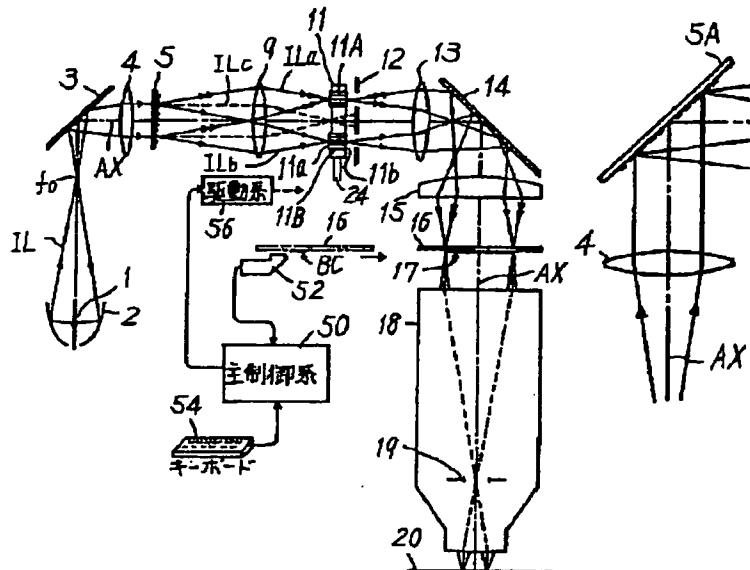
18 投影光学系

19 瞳

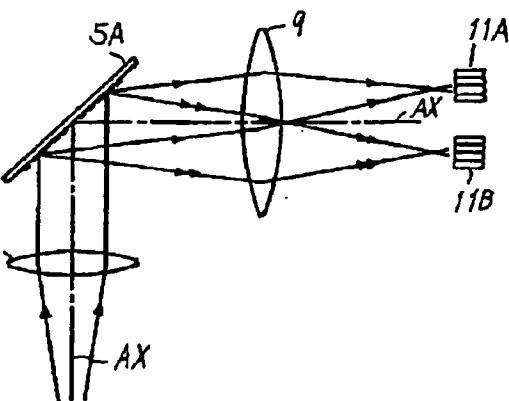
20 ウエハ

24、36 可動部材

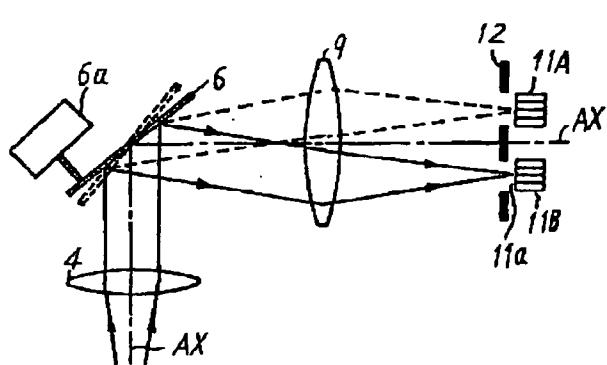
【図1】



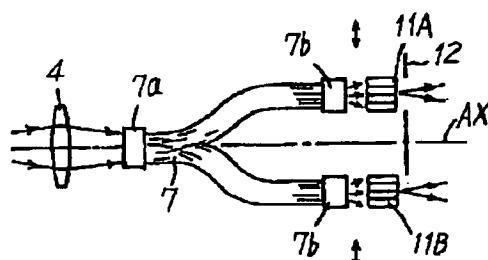
【図2】



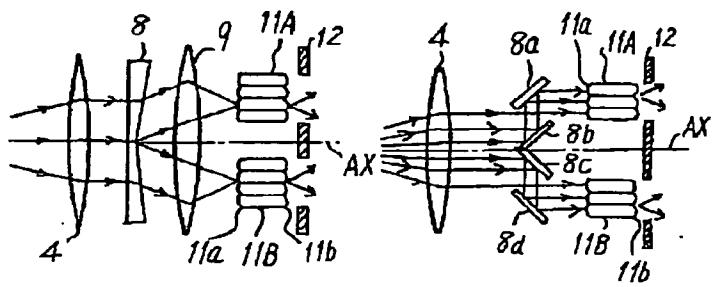
【図3】



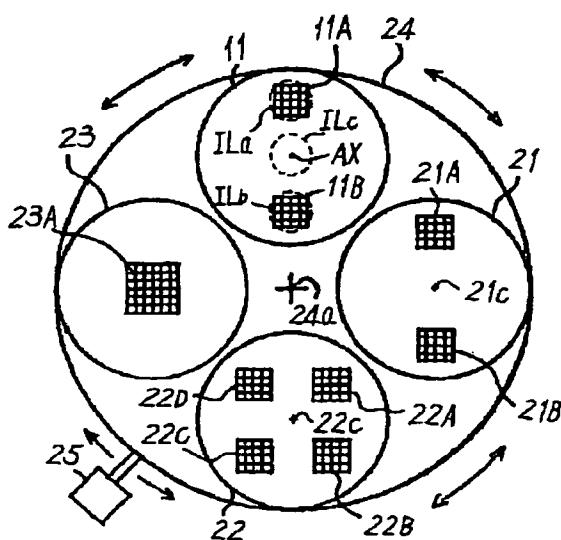
【図4】



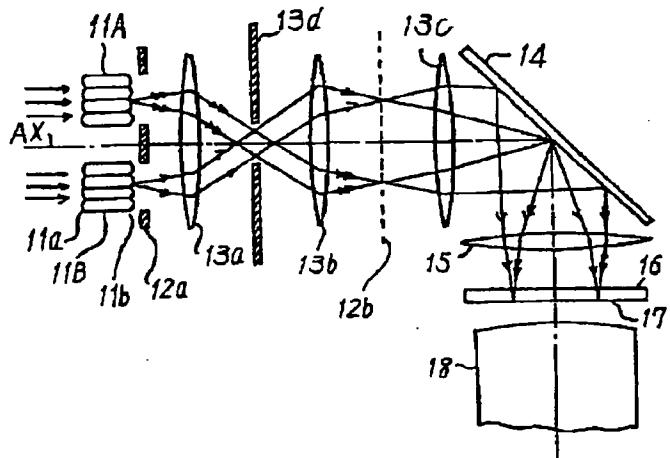
【図5】



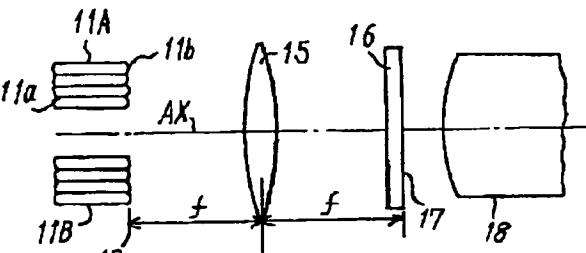
【図6】



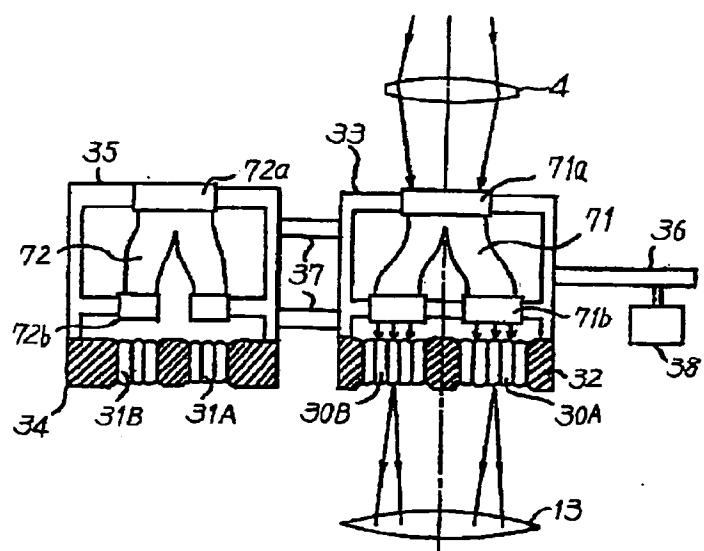
【図7】



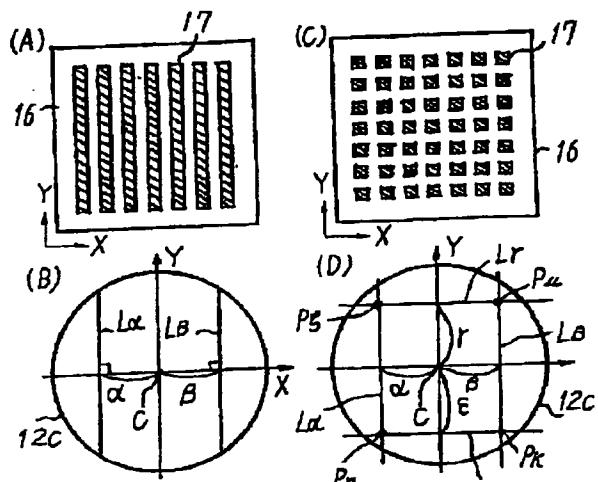
【図10】



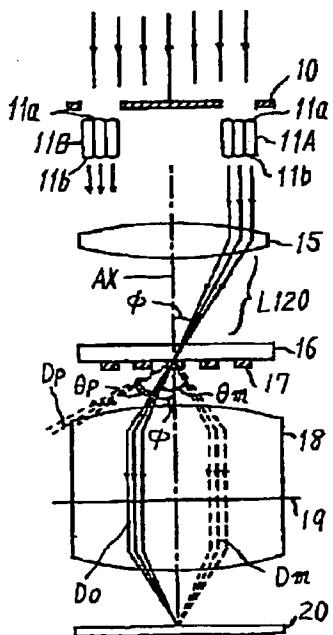
【図9】



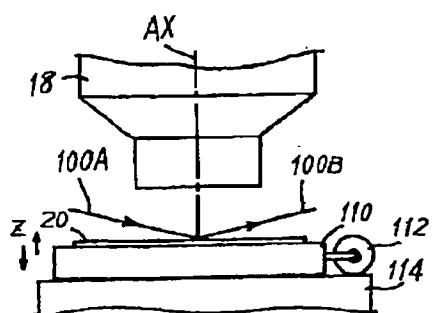
【図11】



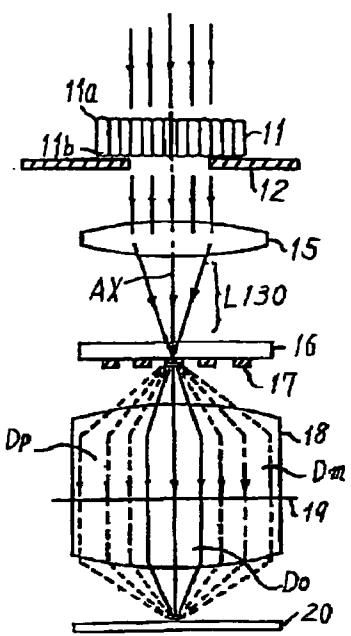
【図12】



【図14】



【図13】



【図15】

